



TITLE:

樹木の生長にともなう自然なわん
曲現象を示す木材の特性に関する
研究:(1) 上賀茂試験地産タイワン
アカマツについて

AUTHOR(S):

大迫, 靖雄; 加藤, 弘之; 野淵, 正

CITATION:

大迫, 靖雄 ...[et al]. 樹木の生長にともなう自然なわん曲現象を示す木材の特性に関する
研究:(1) 上賀茂試験地産タイワンアカマツについて. 京都大学農学部演習林報告 1973,
45: 238-251

ISSUE DATE:

1973-12-15

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191546>

RIGHT:

樹木の生長にともなう自然なわん曲現象を示す 木材の特性に関する研究

(1) 上賀茂試験地産タイワンアカマツについて

大迫 靖雄*・加藤 弘之・野淵 正

Studies on properties of natural bending wood formed in tree growth.

(1) On Taiwan-akamatsu (*Pinus massoniana* Lamb.) planted in
Kyoto University Experimental Forest in Kamigamo.

Yasuo OHSAKO, Hiroyuki KATO and Tadashi NOBUCHI

目 次

要 旨.....	238	3-1 材の組織構造	
1. はじめに.....	239	3-1-1 年輪の推移	
2. 試料および実験方法.....	239	3-1-2 仮道管のディメンジョン	
2-1 材の組織構造の観察		3-2 リグニン含有量の樹高での分布	
2-2 リグニン含有量の測定		3-3 強度的性質	
2-3 強度試験		引用文献.....	248
3. 結果および考察.....	241	Résumé	249

要 旨

京都大学農学部附属上賀茂試験地に生育するタイワンアカマツ (*Pinus massoniana* Lamb.) が、植栽後約10年経過すると、枝が垂下し幹も曲がる傾向を示した。このようなタイワンアカマツの材質について調べた結果、次の諸点が明らかになった。

1. 外側3年輪の生長量はその内側の値に比して低下し、幹の曲がり部位では圧縮あて材の形成に伴う偏心生長を示した。

2. 同じ年次に形成された仮道管の径・膜厚・長さは、幹の下部から上部へと小さくなり、この傾向はとくに試片番号 S4~6 で著しかった。また S4~6 の外側3年輪においては、髄から形成層方向へと仮道管のディメンジョンは小さくなる傾向を示した。

3. 樹幹の垂直方向におけるリグニンの分布状態は円盤の各部位で異なり、垂直方向での変動が著しい。またリグニン含有量のピークが円盤の下側と上側で S5 にあらわれるなど一般的なりグニン含有量の分布で説明できない現象が明らかにされた。

4. 引張強度、曲げヤング率は測定点が高くなるに従って低下し、木部形成当初からあて材を

* 熊本大学, 教育学部

含んだ最上部ではその減少がきわめて大きいことが明らかとなった。また一般にあて材を含む部分は、同円盤の側面部分の強度を低下さすと考えられた。

5. 枝における引張強度および曲げヤング率は、地上高が高くなるに従って減少した。また立木中での枝根元に負荷された曲げ応力は、上部になるに従って上昇している。

以上の結果から、上部ほど力学的に過度な状態で存在していたと考えられ、枝曲りの一つの因子を推定した。

1 は じ め に

京都大学附属演習林上賀茂試験地に植えられたタイワンアカマツ (*Pinus massoniana* Lamb.) が、植栽後約10年してほとんど例外なく枝が垂下し、樹幹も曲がり始め、初期段階で樹幹は背地性を示し立つ傾向があるが、その後数年して枯死してしまう事実を生じた。このような傾向は、本試験地の数ヶ所にわけて植えられたタイワンアカマツの大部分のものに観察され、わずかに枯死をまねがれたものも、樹幹は曲がり、枝は垂下した状態を示している。このような状況は農林省林業試験場九州支場（熊本市）に植えられたタイワンアカマツ、リュウキュウマツについてもみられることが報告されている¹⁾。さらにタイワンアカマツ、リュウキュウマツにかぎらず、九州産マツ精英樹についても同様な現象が見られている²⁾。これらをマツの枝曲り病と名付けている。徳重らはこのようなマツに *Matsucoccus matsumurae* の成虫が見出されたこと、また枝の枯死したものから皮目枝枯病菌の子実体が検出されたことを示して、この原因を推定している。しかし、この原因が上記のいずれかであるという断定はかならずしもできないであろう。とくに本試験地でみられた、いわゆる枝曲り病をおこしたタイワンアカマツの場合、徳重らの報告している *Matsucoccus matsumurae* の存在は確認されなかった。さらに他の原因をも考えてみる必要がある。

筆者らは、このような状態にある材が、生長していく過程において、どのような構造的、成分的あるいは物理的、機械的性質をもつかについて検討してみることにした。なお、本報告のうち、組織構造に関しては主に野渕が、リグニン含有量の測定に関しては加藤が、また強度的性質については大迫が担当した。

本実験の試料木採取についてお世話になった京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地の中井勇氏に感謝の意を表明する。

2 試料および実験方法

本実験で使用される供試木は京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地に植えられた14年生のタイワンアカマツで、種々の実験に使用される試片状態は Table 1 に示す通りである。地上高の低い方から樹幹について、各々の記号を S1~6 とする。また枝については Table 2, 3 に示すが最下部の枝を B1 とし最先端部を B8 とする。ただし B1, 2 は枯枝であり、B7, 8 は径が小さすぎるので試片として使用しない。各々の試片を採集した供試木での位置は Fig. 1 に示す通りで地上高 5.90 m から曲がりはじめ、S6 では垂直から 1.90 m はなれている。

なお、樹幹の各地上高位置 (S1~6) における試片の採取は、谷側（本供試木の樹幹の曲がりの方向）を下側、山側を上側、上下側に直角方向を横側と定義して行なった。

Table 1. Specimen condition of the parts used in the test

表1 実験用試片の状態

Sample No.	Weight (kg)	Height from ground level (m)	Diameter (mm × mm)
S 1	8.35	0.6 ± 0.2	144 × 134
S 2	5.15	2.2 ± 0.2	124 × 124
S 3	3.00	4.2 ± 0.2	118 × 102
S 4	1.30	6.2 ± 0.2	67 × 66
S 5	0.42	7.95 ± 0.2	44 × 41
S 6	0.15	9.0 ± 0.2	23 × 24

Table 2. The branch condition used in tension test

表2 引張試験用枝材の状態

Sample No.	Leaves weight (g)	Branch trunk weight (g)	Branch length (cm)	Diameter (mm)
B3-5	1060	985	230	28.9
B4-5	1300	800	217	26.6
B5-2	2360	850	187	29.1

Table 3. The Branch condition used in bending test

表3 曲げ試験用枝材の状態

Sample No.	Leaves weight (g)	Branch trunk weight (g)	Branch length (cm)	Diameter (mm)	Bending stress (g/mm ²)
B3-3	1135	1000	202	29.4	1.21×10^5
B4-2	800	620	115	28.9	0.56×10^5
B5-6	1780	480	143	24.5	1.69×10^5
B6-2	950	360	145	20.5	1.82×10^5

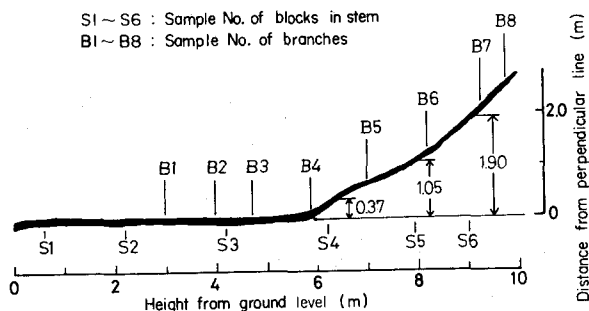


Fig. 1. Schematic diagram of the position of samples in the tree

図1 供試木における試料採取位置を示す模式図

2-1 材の組織構造の観察

上記試片番号 S1~6 の各部位において、上、下、横側各々より形成層から3年輪以上を含む木片を切り出し、ミクロトームにて 20μ 厚の切片を作製し、サフラニン-ライトグリーンで二重染色後検鏡した（試片の一部は、走査型電子顕微鏡観察に供した）。細胞径、細胞膜厚は顕微鏡写真から測定し、50細胞の平均値を求めた。また、仮道管長測定のためには、Jeffery 試薬（5~10%クロム酸、5~10%硝酸を等量に混合した液）で解繊を行った。すなわち S1~6 の横側から小片を取り、形成層から1年輪ごとにけずり取った木屑を Jeffery 試薬中に数日間漬し、その後水洗してプレパラート上に仮道管を展開した。測定には万能投影機（オリンパス社製、UP-350 型）を用い、各々100細胞の平均値を求めた。

2-2 リグニン含有量の測定

上記、組織構造と同様、タイワンアカマツの基部から先端へ各地上高位置（S1~6）で6個の円盤をとり、各円盤ごとに最外輪を含む小試片から厚さ 20μ のミクロトーム木口切片を作成し、飽水試料に Wisner 試薬（フロログルシン 1g をエチルアルコール 50 cc に溶解し、濃塩酸 25 cc を添加したもの）を滴下し、呈色のピーク時にポジティブカラーの顕微鏡写真を撮影（400倍および280倍）した。呈色濃度の測定はカラースライドの濃度をマイクロフォトメーター（島津製読取式測微光度計Ⅱ型）でトレースして平均濃度を求め、これを3段階に区別して、円盤内測定場所ごとに表示した。

2-3 強度試験

本実験に使用された材は、生材をまったく乾燥させることなく水中貯蔵をおこない（強度試験時含水率は約80%）、アテの観察されない、円盤の横側から試片を作成した。また下部から上部まで高さ方向の変化を比較するため、形成層近辺、年輪数にして1~4又は5までの範囲から試片を作成した。したがって S1~6 において試片の形成時はほぼ同一と考えた。試片の形状、寸法は Fig. 2 に示すもので、強度値としては引張強度を最大 200 kg の材料試験機を使用し、0.5 kg の精度で読み取った。曲げヤング係数は片持梁を使用して負荷荷重 10→50 g の範囲でのたわみ量から計算した。たわみ量は読取り顕微鏡を使用して $1/100\text{ mm}$ の精度で読み取った。なお、本実験に使用される試片の寸法は小さいため、内部の組織の構造のバラツキが強度値におよぼす影響は大と思われるので、その点を考慮し、いずれの試片も夏材率をほぼ同じくすることをこころがけた。

枝についても樹幹と同様の測定をおこなったが、試験された枝の場合についての枝の状態は引張試験については Table 2 で曲げヤング率をもとめたものについては Table 3 で示され、特に Table 3 中には枝根元における曲げ応力を近似的にもとめた値を入れた。

3 結果および考察

3-1 材の組織構造

タイワンアカマツの二次木部の構成細胞は、軸方向要素として仮道管およびエピセリウム細胞

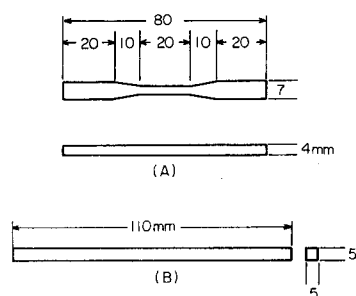


Fig. 2. Shape and size of specimens in tension (A) and bending (B) test.

図2 引張(A)および曲げ試験(B)用試片の形状および寸法

により囲まれた垂直樹脂道, また水平方向要素としては放射柔細胞, 放射仮道管ならびに水平樹脂道から成っている。木口面で見るとき, Photo. 1 に示すごとく, 春材・夏材帯が明確に区別でき, 垂直樹脂道は夏材帯ならびにその近辺に分布している。また Photo. 1 において最外年輪を見ると, すでに夏材を形成し始めている。すなわち今回の供試木では形成層の活動は完全な休止期には入っていないが, 休止期に近いことを示している (試料木採取時期は10月初旬)。

本実験の供試木について過去の生長過程の履歴を材の組織構造の観点から見る目的で, 年輪の推移ならびに細胞とりわけ仮道管の特性について調べた。

なお, 以下に示す結果に対する参考資料として, Photo. 2(a)~(c) に同一地上高の円盤の上・横・下側各々の顕微鏡写真を, また走査型電子顕微鏡による仮道管断面の拡大図を Photo. 3 に示した。

3-1-1 年輪の推移

試料番号 S1~6 の各円盤において, 上, 横, 下側各々の形成層から髄にいたる年輪幅の測定値を Table 4 に示す (外側3年輪は顕微鏡写真より測定, 他は円盤から直接測定した)。また幹の下側(上・横側には圧縮あて材は形成されていなかった)における圧縮あて材の有無を Table 5 に示す。Table 4 の結果から, 外側3年輪とりわけ2年輪の生長量が内側と比べて低下していることがわかる。また同一地上高においては, 外側3年輪に偏心生長が見られる場合があるが, これは圧縮あて材の形成に伴ったものと考えられる。ところで, 供試木の採取時における林の状態を見ると, 樹冠は閉鎖していなかった。従って外側3年輪における生長量の低下は, 樹冠閉鎖に伴ったものとは考えられない。

また外側3年輪の春, 夏材の推移を Table 6 に示す。すなわち S4~6 の外側2年輪に於て,

Table 4. Variation of annual ring width (mm) from cambium to pith.

表4 形成層から髄への年輪幅の推移

annual ring No. from cambium sample No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
upper side wood	S 1	0.4	1.5	2.0	6	5	7	7	6	6	5	11
	2	0.4	1.2	2.7	7	7	7	9	6	2		
	3	0.1	0.7	3.7	7	7	7	8	5			
	4	0.5	0.6	3.6	7	7	8					
	5	0.3	0.1	3.6	6	6						
	6	0.3	0.1	6.5								
side wood	S 1	0.7	2.3	2.5	7	7	8	8	9	6	9	9
	2	0.4	1.3	4.3	7	6	8	9	7	12		
	3	0.5	1.5	4.7	9	6	9	8	5			
	4	1.7	1.0	4.0	7	6	8					
	5	0.5	0.4	4.1	6	6						
	6	0.2	2.6	6.5								
lower side wood	S 1	0.3	3.9	4.5	10	9	13	11	9	8	10	9
	2	0.8	3.3	2.0	9	8	9	9	11	12		
	3	2.0	2.1	6.0	9	8	12	8	6			
	4	3.5	1.2	5.5	8	7	7					
	5	1.8	0.3	6.4	7	6						
	6	0.2	3.6	6.5								

Table 5. Compression wood distribution in lower side wood on disk.

表5 幹の下側における圧縮あて材の分布

sample No.	annual ring No. from cambium			
		1	2	3
S	1	×	○	○
	2	×	×	×
	3	○	○	×
	4	○	○	○
	5	○	○	○
	6	×	○	○

○ : compression wood

× : normal wood

Table 6. Pattern of transition from spring to summer wood within annual ring.

表6 年輪内の春・夏材の移行形態

sample No.	annual ring No. from cambium	side on disk			upper side wood			side wood			lower side wood		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
S	1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*	*
	2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	3	×	○	○	○	○	○	*	*	○	*	*	○
	4	×	△	○	×	△	○	*	*	*	*	*	*
	5	×	△	○	×	△	○	*	*	*	*	*	*
	6	×	○	○	×	△	○	×	*	*	*	*	*

○ : annual ring with normal spring and summer wood

△ : annual ring with imperfect summer wood

× : annual ring without summer wood

* : annual ring with compression wood

夏材細胞が存在しないかあるいは細胞が扁平化して年輪界は認められても、夏材細胞の特徴としての膜の肥厚が伴わない場合が出現する。これらの形態については、Photo. 1 の外側2年輪とPhoto. 2 の年輪との比較において明らかに示されている。たゞ最外年輪については、形成層の細胞分裂は完全には休止期にいたらず、今後夏材細胞を形成する可能性は考えられるが、2年輪においても、明瞭な夏材細胞を欠如していることは、特異的な現象と考えられる。

3-1-2 仮道管のディメンジョン

材の諸性質とりわけ物理的・機械的性質に中心的役割を果す仮道管について、そのディメンジョンの変化を調べた。すなわち各地上高位置 (S1~6) の円盤において、上・下・横側各々3年輪の春材仮道管径 (接線径) を Fig. 3 に、また、最外年輪の春材仮道管膜厚 (接線膜厚) を Fig. 4 に示した (図中点線は、本供試木が曲がり始めた位置を示す)。

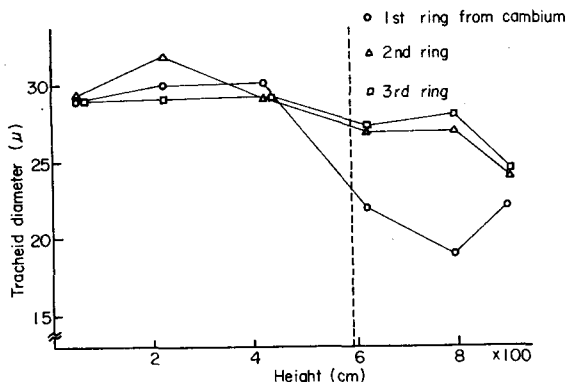


Fig. 3(a)

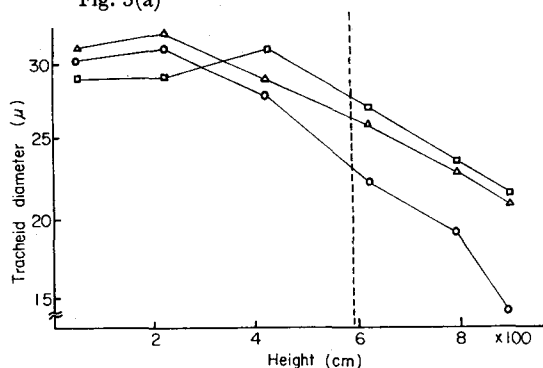


Fig. 3(b)

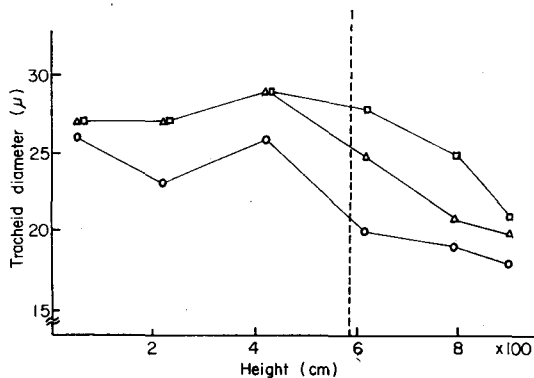


Fig. 3(c)

Fig. 3. Pattern of variation of average tracheid diameter (tangential diameter) in spring wood.
(a) upper side wood, (b) side wood,
(c) lower side wood

図3 春材仮道管径(接線径)の変化
(a) 上側, (b) 横側, (c) 下側

成熟材の一つの指標である仮道管のディメンジョンに関する今回の結果を見ると、同じ年次に形成された年輪において幹の下部から上部へディメンジョンが小さくなる傾向を示すものの、S4~6における減少率は、S1~3に比べて大である。また同一地上高の半径方向においては、髄から形成層の方向へと減少する傾向（とくにS4~6において）を示し、未成熟材について一般に論じられている傾向からは説明できない特徴を有していると考えられる。

Fig. 3において、上・下・横側各々について、S4~6がS1~3に比べて細胞径が小さく、S4~6では漸減する傾向を示した。またとくにS4~6においては、細胞径は髄から形成層の方向へと小さくなることを示している。

Fig. 4より、仮道管膜厚値は、圧縮あて材を含む下側（たとえばPhoto. 2(c)）は除外して考えると、上・横側においては地上高の増加とともに減少の傾向を示し、とくにS5, 6において小さい値を示した。

さらに、幹の横側における外側3年輪の春材仮道管長を測定した結果を、Fig. 5に示す（図中点線は前図同様に樹幹の曲がり始めた位置を示す）。すなわち、地上高の増加とともに傾向として仮道管長は短くなり、とくにS4~6における減少が著しい。またS6の第3年輪の仮道管長が著しく小さい値を示すが、この年輪は髄に接した肥大生長の第1年輪であり、このことを考慮に入れると、S4~6においては、細胞径における結果と同様、髄から形成層の方向へ、仮道管長は短くなることが判明した。

ここに述べた仮道管のディメンジョンが、S1~6のうちとりわけS4~6において特異な値を示したが、これらの部位が幹の曲がり部分と一致する点、きわめて興味深い結果と考えられる。

ところで、今回の供試木は14年生であり、従って未成熟材部に当たると考えられるが、未成熟材に関しては、幹の径方向では、いずれの横断面でも髄から10~15年輪ぐらいまでに存在し、また幹の軸方向においては、同じ年次に形成された木部の頂端部から下方へ行くに従い成熟材に近づくことが示されている⁴⁾。成熟・未

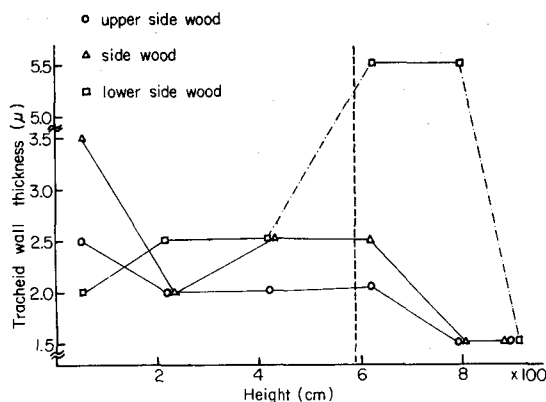


Fig. 4. Pattern of variation of average tracheid wall (tangential wall) thickness in outermost spring wood.

図4 最外輪春材の仮道管膜（接線膜）厚の変化

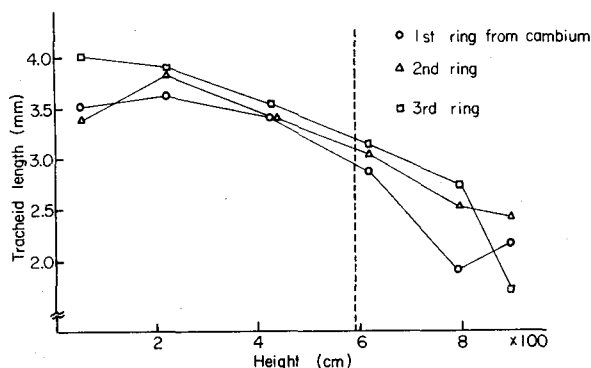


Fig. 5. Pattern of variation of average spring wood tracheid length in side wood.

図5 幹の横側における春材仮道管長の変化

以上に述べたように、材の組織構造の観察とりわけ仮道管のディメンジョンの測定から、供試木採取前2・3年間の材の構造が、特異的な状態を示していると推定された。

3-2 リグニン含有量の樹高での分布

樹幹最外輪のリグニンの垂直分布を顕微化学的にフロログルシン塩酸反応を用いて調べた結果を Table 7 に示す。この結果、幹の横側では樹幹の上部と下部で木化度に差が認められ、樹幹の上部に向かって木化度が減少する傾向があらわれる。また幹の上側と下側とも S5 で強いピークを示す。

一般に樹幹の垂直方向におけるリグニンの分布は、細胞膜中でのリグニンの不均等分布にくらべ、その分布の差異はごくわずかであり、横方向の分布にみられるような一定の傾向はみられない。⁵⁾ 渡辺ら⁴⁾による未成熟材の研究によると、未成熟材では上部が下部よりも、また髓近傍でリグニン含有率が高くなることを明らかにしているが、本実験での S5 の強い呈色のピークは下側のそれがアテによるものであると考えても、上側にみられるのは S4 等と比較しても、さらに細胞径、膜厚等を考えても、樹幹の曲がった位置にある以外は特に特異な点は見出されない。したがってこのピークは、未成熟材の構造特性とも考えられず、この結果からのみ断定はできないが、

Table 7. Colour reaction of lignin from different parts of the stem.

表7 リグニン含有量の分布

side on disk		upper side wood	side wood	lower side wood
sample No.				
S	1	++	++	++
	2	++	++	++
	3	++	++	++
	4	++	+	++
	5	+++	+	+++
	6	++	+	++

grade of intensity measured by the microphotometer

+ : 0.1-0.2

++ : 0.2-0.3

+++ : 0.3-0.4

ある異常性を示していることが推定される。さらに側面で示される樹幹の上部になるにしたがってリグニン含有量の減少する結果は近藤⁶⁾によって述べられているが、本実験でのその値は変動が著しい。したがってかならずしも近藤の結果と同じとはいえない。この結果でリグニン含有量が急減する S4~6 は Fig. 1 で示した樹幹の曲がった部分にあたり、このような樹幹状態と関連があることも推定される。

T. E. TIMELL⁷⁾ は圧縮アテ材の横断面において髄をはさみアテ材の反対側と側面でリグニン含有量はほとんど同じであることをのべているが、本実験では T. E. TIMELL の報告とかなり異なった結果を示している。

以上にのべたようにリグニンの分布状態は一般に述べられている説もかならずしも一定しないが、しかし、変動の激しさ、あるいは分布の状態等いずれの説でも説明できないものがあり、かなり特異な傾向を示しているといえよう。

3-3 強度的性質

樹幹の垂直方向での比重の変化を Fig. 6 に示す。図中点線は本供試木が曲りはじめた点を示している。この図から、樹幹上部になるにしたがって比重の低下がみられる。地上高と比重の関係は例えば E. Volkert⁸⁾ 等が述べているが、その値はともかくとして傾向としてきわめて特徴

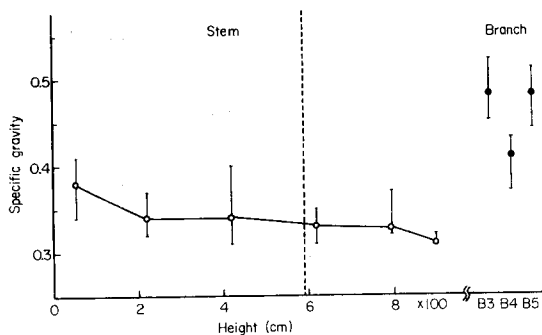


Fig. 6. Relationship between specific gravity and height,

図6 樹幹の垂直方向での比重の変化

的な変化は観察されず、その値の低下も J. Yao⁹⁾ の結果と比較して特に大きいとはいえない。さらに枝の比重と枝の附着位置を同図中に示すが枝の附着位置による比重の変化は示されていない。

次に引張強度値と地上高の関係を Fig. 7 で示す。この場合も Fig. 6 と同様に供試木の曲りはじめを図中点線で示す。この結果は S2 にあたる部分に最大値があらわれ、以後、地上高の増加とともにその引張強度はあきらかに低下し、特に S6 にあたる部分の低下は著しい。この結

果を、供試木の各部分における組織的特徴と関連してみると、地上高のもっとも低い S1 は Table 5 に示されるように圧縮アテ材が存在しており、わずかに傾斜していることが示される。このような材の性質が正常材と比較するとき若干異なった性質を示したものと考えられる。さらにアテ材を含まない S2 部で最大値が存在したことは、アテ材が存在する場合の横断面中でみられる正常材にもなんらかの影響があたえられることが推定された。さらに地上高が増加するにつれて引張強度値が低下し、S6 で急激な値の低下

を示すことを Fig. 4 による細胞膜厚、あるいは Figs. 3, 5 による細胞径、仮道管長の低下等に関係づけて考察すると、その生長の低下によるものであることが推定される。また S4 のアテの状態は形成層から 4 年輪にはアテが観察されていないことを示した。したがって、S4 の形成期において樹幹の曲げは存在しなかったと考えられ、後に曲がってきたと考えた方が適当であろう。したがって試片作成部に、アテの影響を受けたものと、受けないものが考えられ、形成初期からアテ材である S6 が急激な強度の低下を示すことの根拠の 1 つと考えられるであろう。

前節で、試片作成部の円盤中横側では、リグニン分布は樹幹が上部になるにつれ減少し、その値の低下が大きいことを示した。この結果は S4 で本供試木が曲りはじめた点を考えると興味深い結果を示しているといえる。さらに S4~6 におけるリグニン量は $10 \sim 10 \sim 10$ で分類した場合、Table 7 のごとく同じレベルであるが、リグニンの含有量は地上高に依存して急激に減少しており、S4~6 でも厳密にはその低下がはげしい。したがって、最上端 S6 での強度値の急激な減少は、木化の不充分さと関連づけて考えてみる必要がある。

次に枝材での結果であるが、この場合も地上高があがるにしたがって、強度値はあきらかに低下を示す。この場合組織構造との関係について述べられないが、Fig. 1 であきらかなように、ここで測定された B4 は供試木の曲がり点にあたり、樹幹の曲がる以前に形成されたと考えられるが、B5 は供試木が曲がってから形成されたか、または形成されてから曲げられたかのいずれかである。しかし、B5 の場合、B4 に比して樹幹の曲げがおこり、アテが形成された後形成された部分が多く部分をしめることが推定され、S6 と同じような考えから強度の低下を考えてみることができよう。

同じような考え方から、片持梁による曲げヤング率を求めたものを樹幹について Fig. 8(a)、枝について Fig. 8(b) に示す。Fig. 8(a) からあきらかなように曲げヤング率も引張強度と同様に S2 で最大値を示しており、傾向としても地上高が上るにしたがって、その値が減少し、S6 で急激な低下を示す。この傾向も引張強度と同様な解釈ができるであろう。ただ、樹幹が曲がり、アテ材が出現し、組織的あるいは成分的に異なった性質を示す S4~6 と、一応直立している S1~3 との間に特徴的な変化を見出すことはできなかった。

次に枝について B3~6 での曲げヤング率の変化を Fig. 8(b) の結果からみると、引張強度の低下と同様地上高の増加にしたがって、その値は低下を示している。しかし、この場合は、樹幹の曲げ点より下部にある B3 と他のものとを比較すると、その値の低下は幹の曲った部分より上部でより大きな低下値を示す傾向がみられるといえよう。

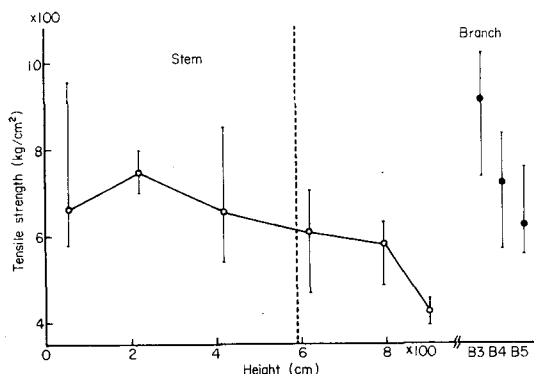


Fig. 7. Relationship between tensile strength and height.

図7 樹幹の垂直方向での引張強度値の変化

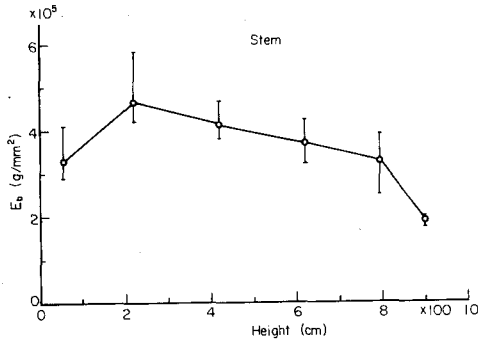


Fig. 8(a)

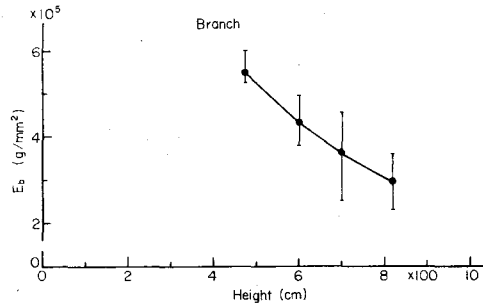


Fig. 8(b)

Fig. 8. Relationship between modulus of elasticity in bending and height, (a) stem, (b) branch

図8 樹幹の垂直方向での曲げヤング率の変化, (a) 樹幹, (b) 枝

枝の場合 B4 より上部の枝は Photo. 4 に示すように曲げられた状態である。このようなことも考えてみる必要がある。ところでここで求められた枝の根元における曲げ応力は枝重量、葉重量等から Fig. 8(b) に示した曲げヤング率をもとに片持梁を仮定した近似的な計算値を Table 3 中に示した。この値は枝の位置が上部になるにつれて、枝根元における曲げ応力が増加することをあらわしている。さらに引張強度値からあきらかなように、枝の引張強度は地上高があがるにつれて低下する傾向を示している。この結果から、曲げ強度の傾向も同様な傾向を示すことが予想される。したがって強度が低下し、負荷応力が増加したことによる結果、上部ほどそのたわみが増加することが予想される。また上記考察は静的な状態を考えたが、これはさらに風あるいは雨等による動的な力の作用、またクリープ現象等考える必要があり、ここで考えるたわみよりさらに大きなたわみが生じることは容易に予想される。しかしこれが枝曲りの原因かいなかについて明確にできない。ただこの変化が一因子となったことは予想される。例え他の原因で枝の強度が落ちた結果として枝曲りが生じたとしても、上記力の関係は曲げの附加的な原因となることが予想される。

以上強度と地上高との関係について述べ、供試木が曲げられた点より高い部分での引張強度、曲げヤング率の低下が示されたが、このデータからのみではどのような原因で曲げが生じたか明白にされない。しかしこの場合、徳重¹⁾らによって述べられた、曲げ部の球形嚢状物の存在とそれともなう *Matsucoccus matsumurae*、もしくはその存在のあとは見出されていない。いずれにしても強度の低下がなんらかの形で関係すると考えられる。

引用文献

- 1) 徳重陽山, 森本 桂: マツの枝曲り病, 九州支部論文集, 23, 183 (1969)
- 2) 大山浪雄, 塚原初男, 岸 善一: 九州産マツ精英樹クロンの異常木, 九州支部研究論文集, 24, 64 (1970)
- 3) 加藤弘之, 中戸莞二: 木材の細胞膜構造と収縮異方性(I), 仮道管の径接細胞膜におけるリグニン分布, 京大演報, 40, 284 (1968)
- 4) 渡辺治人: 樹幹丸太の特性, 九大農, 木材理学教室研究資料, 67-1 (1967)
- 5) UPRICHARD, J. M.: Cellulose and lignin content in *Pinus radiata* D. Don. Within-tree variation in chemical composition, density, and tracheid length., *Holzforschung*, 25, 97, (1971)
- 6) 右田伸彦, 米沢保正, 近藤民雄編: 木材化学, 共立出版 (1968)
- 7) TIMELL, T. E.: Studies on opposite wood in conifers. Part I, Chemical composition, *Wood Sci. Tech.*, 7, 1, (1973)

- 8) VOLKERT, E.: Untersuchungen über Größe und Verteilung des Raumgewichts in Nadelholz Stämmen, Mitt. Akad. dtsh. Forstwiss., Frankfurt, 2, 1, (1941)
- 9) YAO, J.: Influence of growth rate on specific gravity and other selected properties of Loblolly pine, Wood Sci. Tech., 4, 163, (1970)

Résumé

Taiwan-akamatsu (*Pinus massoniana* Lamb.) planted in Kyoto University Experimental Forest in Kamigamo showed a tendency to weep and the stem to lean about ten years after the seedling stage. From studies of the properties of the stem and the branches, the following results were drawn.

1. The annual ring width of the outer three years of the stem showed small values compared with the inner parts. In the leaning parts of the stem eccentric growth was shown as the effect of compression wood formation.

2. The values of tracheid diameter, wall thickness and length formed in the same year decreased as the stem height increased. This tendency was emphasized in specimen No. S4—6. The tracheid dimension in the outer three years of S4—6 decreased in value from pith to cambium.

3. In the side wood on disk, lignin content decreased with increasing height and in the upper side wood and lower side wood on disk, sample No. S5 had the maximum values of lignin content.

4. The values of tensile strength and modulus of elasticity in bending decreased with increasing height and the values showed remarkable decline at a higher point compared with the bent point of stem. The results might be related to variation of lignification, tracheid length, thickness of cell wall, etc.

5. The values of tensile strength and modulus of elasticity in the bending of the branch showed a similar tendency to that of the stem. It was shown that the bending stress on cardinal points of the branch increased with increasing height of branch.

From the results, it may be assumed that a decrease in strength and increase in bending stress might be a factor in the bending of the higher branch.

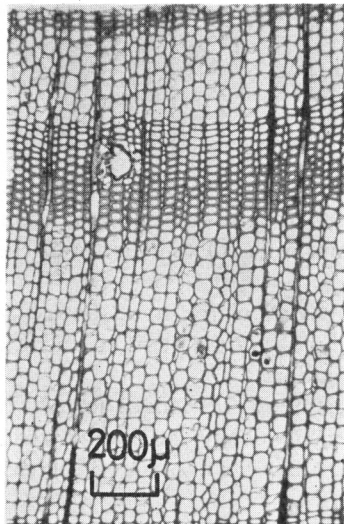


Photo. 1

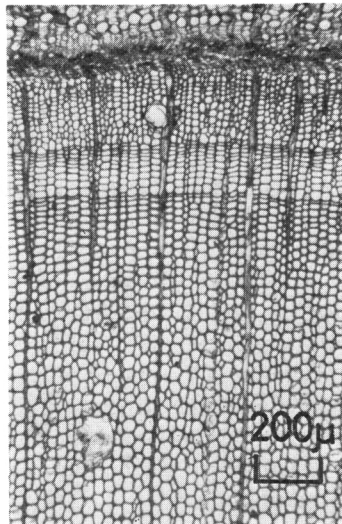


Photo. 2(a)

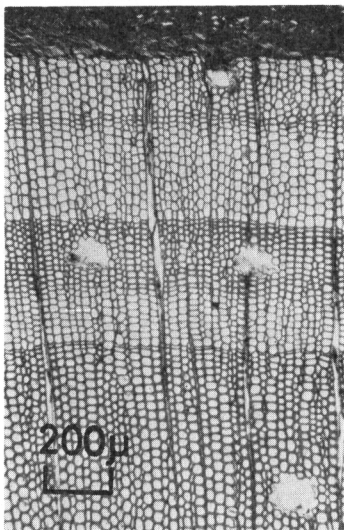


Photo. 2(b)

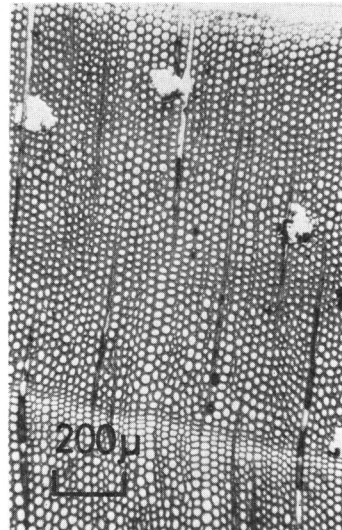


Photo. 2(c)

Photo. 1 Light micrograph of a cross section of stem (S2) showing normal spring and summer wood.

写真1 幹 (S2) の木口切片の光学顕微鏡写真, 正常な春材, 夏材を示す。

Photo. 2 Light micrographs of cross sections of stem (S5)

(a) upper side wood, (b) side wood, (c) lower side wood

写真2 幹 (S5) の木口切片の光学顕微鏡写真

(a) 上側, (b) 横側, (c) 下側

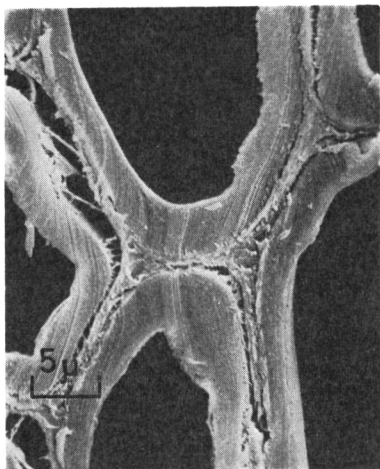


Photo. 3(a)

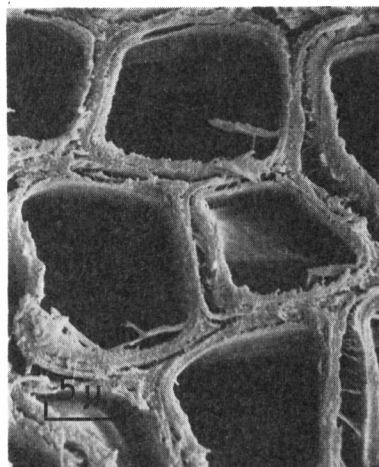


Photo. 3(b)

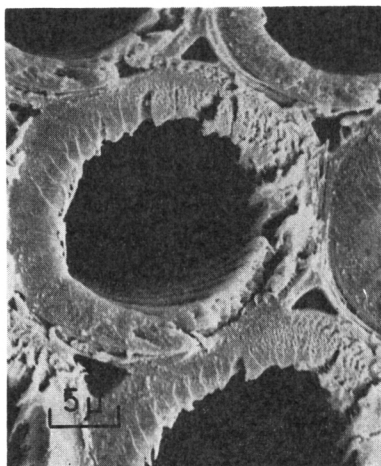


Photo. 3(c)



Photo. 4

Photo. 3 Scanning electron micrographs of three types of tracheids.
 (a) S2 (side wood) (b) S5 (upper side wood).
 (c) S5 (lower side wood)

写真3 仮道管横断面の形態を示す走査型電子顕微鏡写真
 (a) S2 (横側), (b) S5 (上側), (c) S5 (下側)

Photo. 4 Branch condition in standing tree (B5)

写真4 立木における枝 (B5) の状態を示す。